



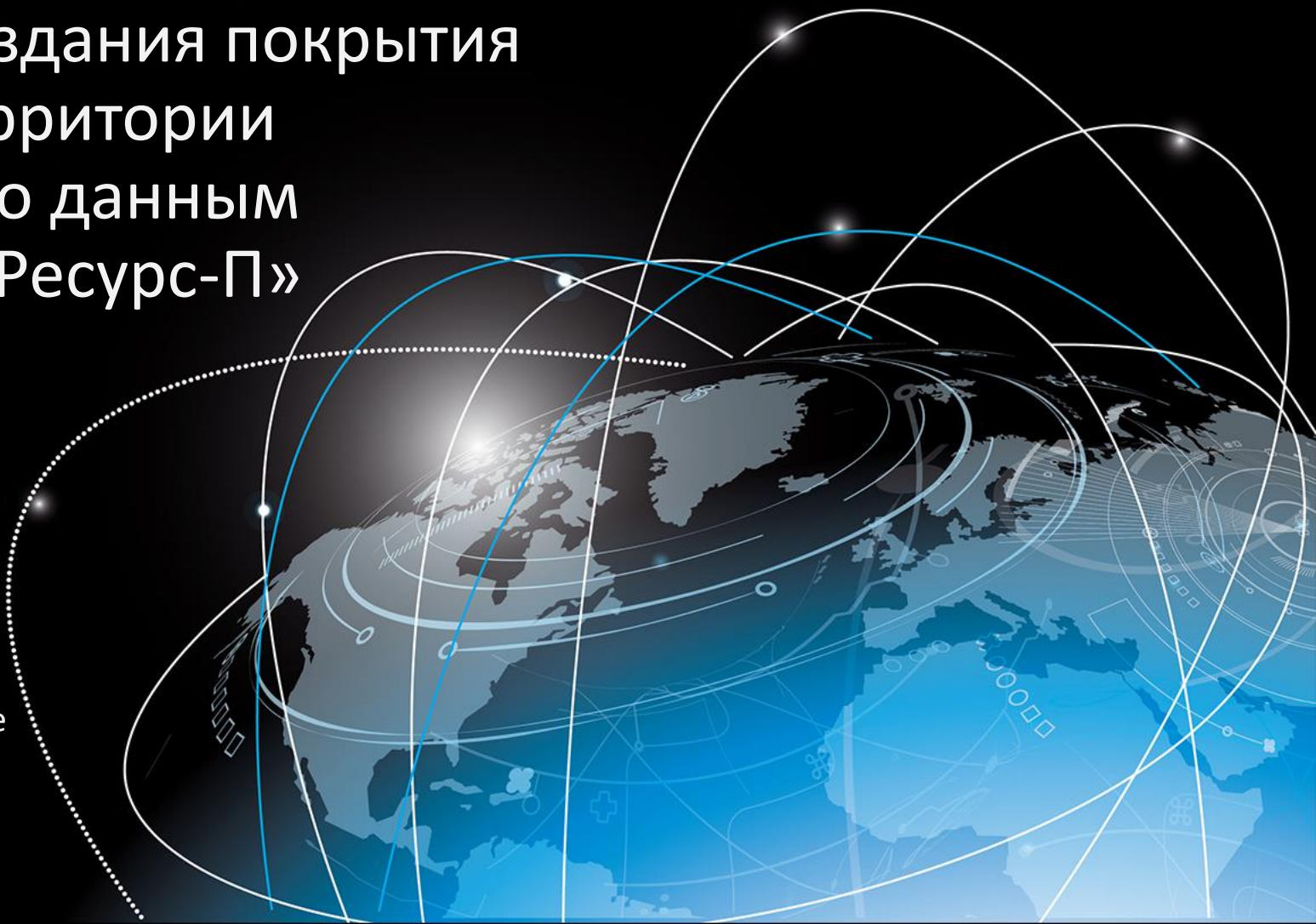
РОССИЙСКИЕ КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Проблемные вопросы создания покрытия высокого разрешения территории Российской Федерации по данным космического аппарата «Ресурс-П»

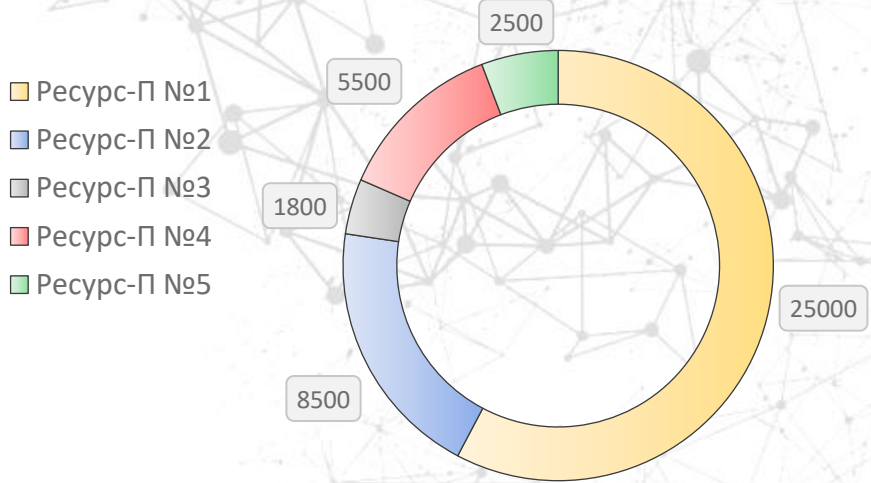
А.Н. Марков, А.И. Васильев, А.А. Михеев,
А.В. Крылов, А.А. Артамонов,
И.Д. Мурашова, А.А. Пестряков

АО «Российские космические системы»,
Научный центр оперативного мониторинга
Земли (Москва)

XXIII Международная конференция «Современные
проблемы дистанционного зондирования Земли
из космоса»
(10 – 14 ноября 2025 г., г. Москва)



КОЛИЧЕСТВО МАРШРУТОВ СЪЕМКИ*



КА типа «Ресурс-П»

Космический аппарат	Диапазон съемки**, мкм	Пространственное разрешение**, м	Полоса захвата**, км	Диапазон дат съемки**
Ресурс-П №1	0,58 – 0,80	0,7 – ПХ 3 – МС	38	2013 – 2021
Ресурс-П №2	0,45 – 0,52 0,52 – 0,60			2014 – 2018
Ресурс-П №3	0,61 – 0,68 0,67 – 0,70			2016 – 2017
Ресурс-П №4	0,70 – 0,73 0,72 – 0,80			2024 – н.в.
Ресурс-П №5	0,80 – 0,90			2025 – н.в.

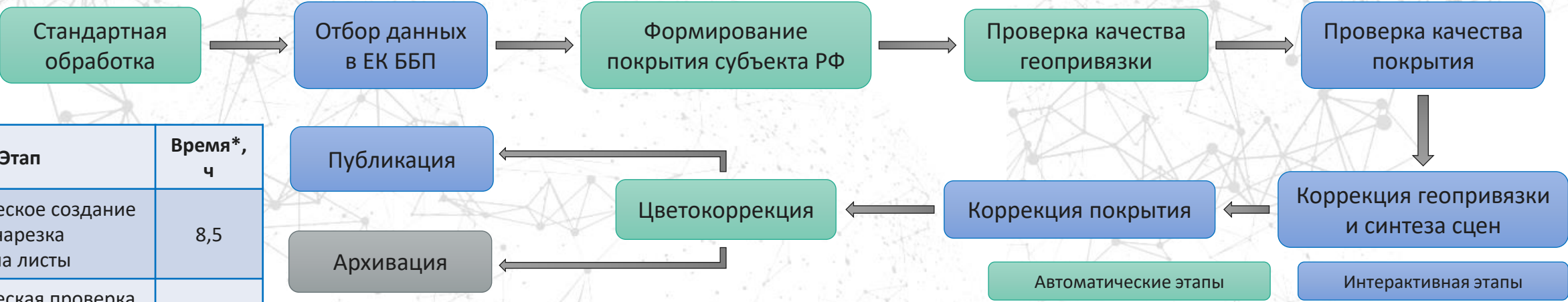


Визуализация отобранных маршрутов съемки региона интереса с учетом процента облачности

* Из анализа архивов данных в геопортале Госкорпорации «Роскосмос»: <https://gptl.ru>.

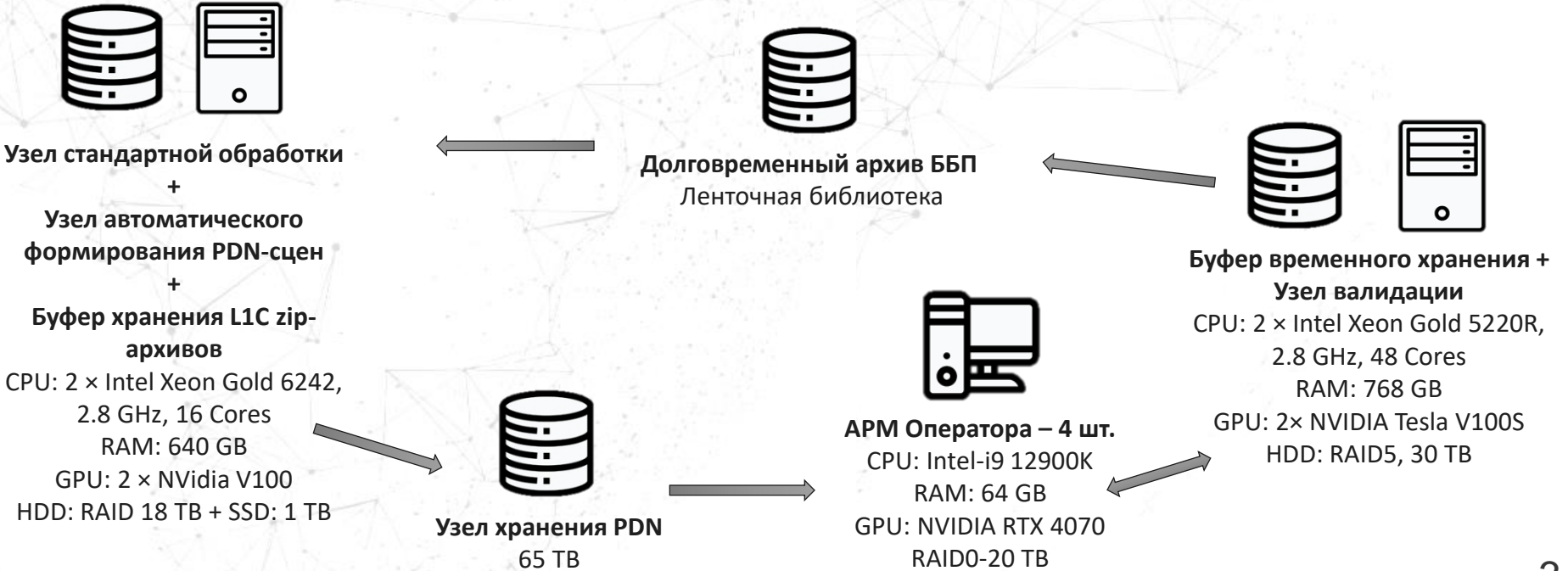
** Сайт Госкорпорации «Роскосмос»: <https://www.roscosmos.ru>.

Структурно-технологическая схема процессов создания покрытия

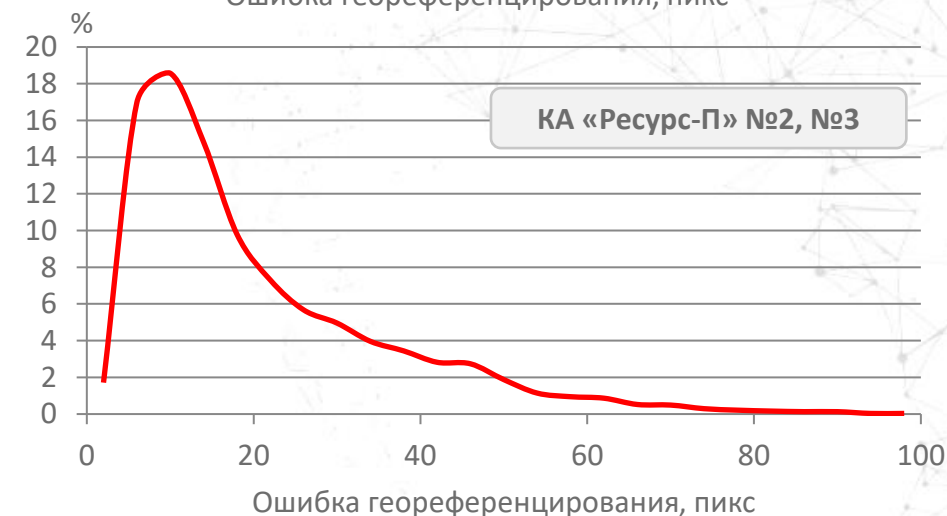


Этап	Время*, ч
Автоматическое создание проекта и нарезка покрытия на листы	8,5
Автоматическая проверка качества геопривязки	4
Тайлинг	10
Интерактивная проверка	5,5
Исправление ошибок геопривязки и синтеза	10
Интерактивное исправление покрытия	15
Цветокоррекция	4
Конвертация, тайлинг	6,5
Архивация	-

* Расчетная продолжительность каждого этапа формирования покрытия исходя из усредненного количества листов на субъект (500 листов).



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СЦЕН, ПРОШЕДШИХ ОЦЕНКУ КАЧЕСТВА*



Технология конвейерной стандартной обработки:

1. необходимость использования мощных вычислительных ресурсов и больших объемов для хранения данных;
2. совместное использование L1A и L0 данных;
3. разработка полного цикла обработки L0 данных;
4. геореференцирование – вычислительно сложная и времязатратная операция, требующая практически индивидуального выбора параметров обработки.



Узел стандартной обработки
 CPU: 2 × Intel Xeon Gold 6242,
 2.8 GHz, 16 Cores
 RAM: 640 GB
 GPU: 2 × Nvidia V100

В среднем за сутки обрабатывается 10 маршрутов на указанных вычислительных ресурсах.

Отбор маршрутов

Выгрузка L1A/L0

Создание L1C, деление маршрута на сцены и геореференцирование

Создание L1D: ортотрансформирование

Создание PDN-продуктов

Переход из 16 в 8 бит
 Перепроецирование
 Сжатие DEFLATE

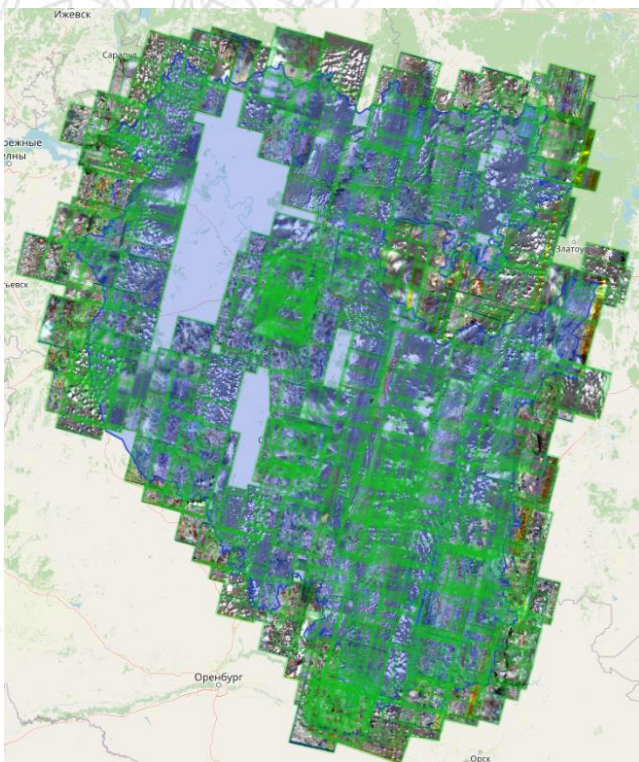
Аккумуляирование PDN-данных на локальном буфере

* А.И. Васильев А.И., Соколов С.М. Верификация качества геореференцирования данных и информационных продуктов российских космических систем дистанционного зондирования Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2025. Т. 22. №3. С. 33–52. DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-3-33-52.

Отбор данных для формирования покрытия

Критерии отбора данных

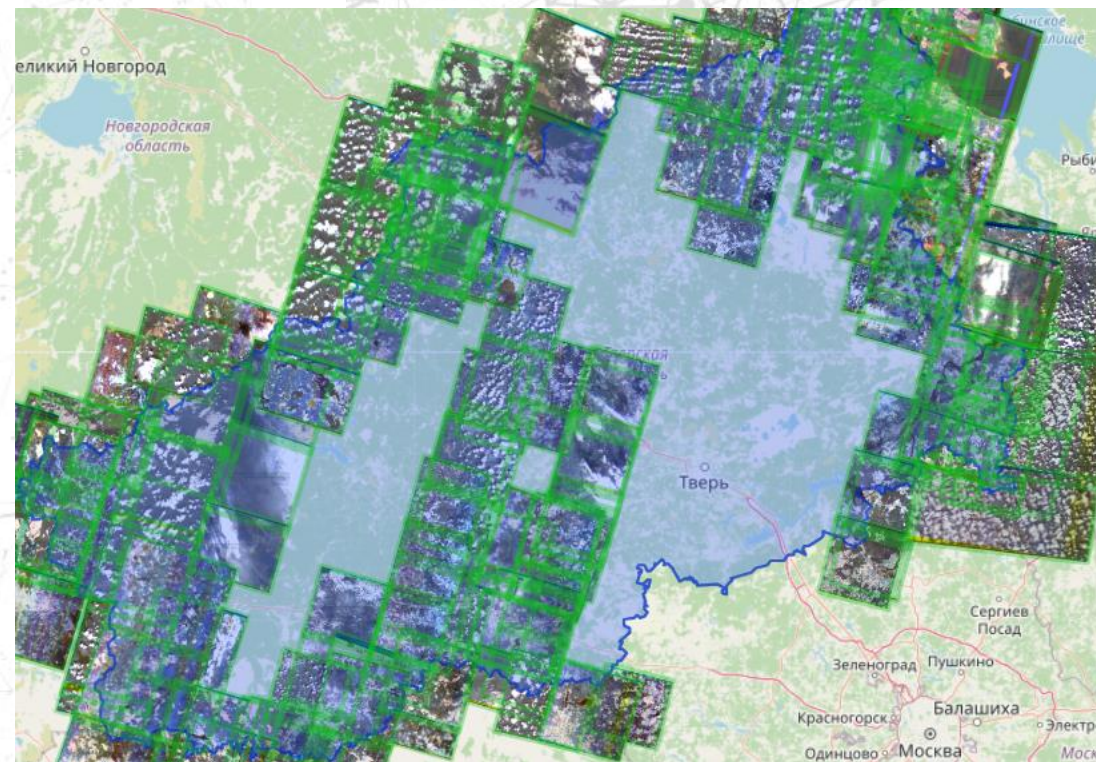
- космические аппараты: «Ресурс-П» №№ 1-3;
- даты съемки: май-октябрь 2013-2021 гг.;
- беснежные и безоблачные данные.



Отбор сцен на территорию Республики Башкортостан в интерфейсе ЕК ББП*

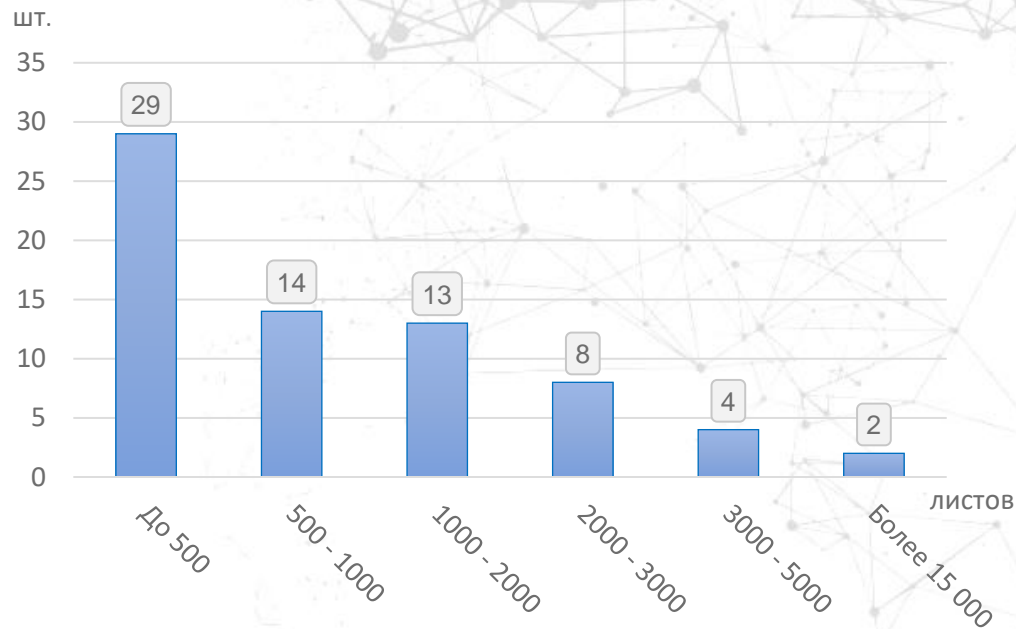
Проблемы отбора данных

- ограниченное количество пригодных данных;
- использование данных с большими углами съемки;
- несплошное покрытие территорий субъектов РФ.

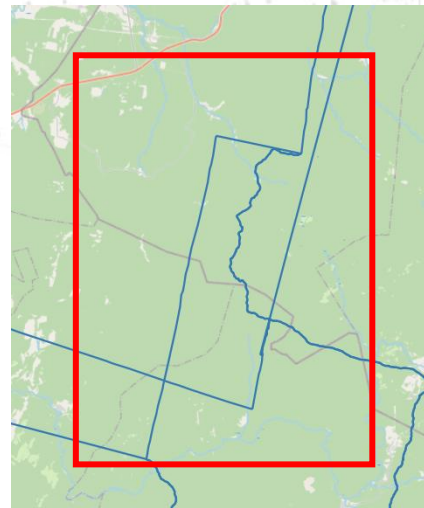


Отбор сцен КА «Ресурс-П» №1 – «Ресурс-П» №3 на территорию Тверской области в интерфейсе ЕК ББП*

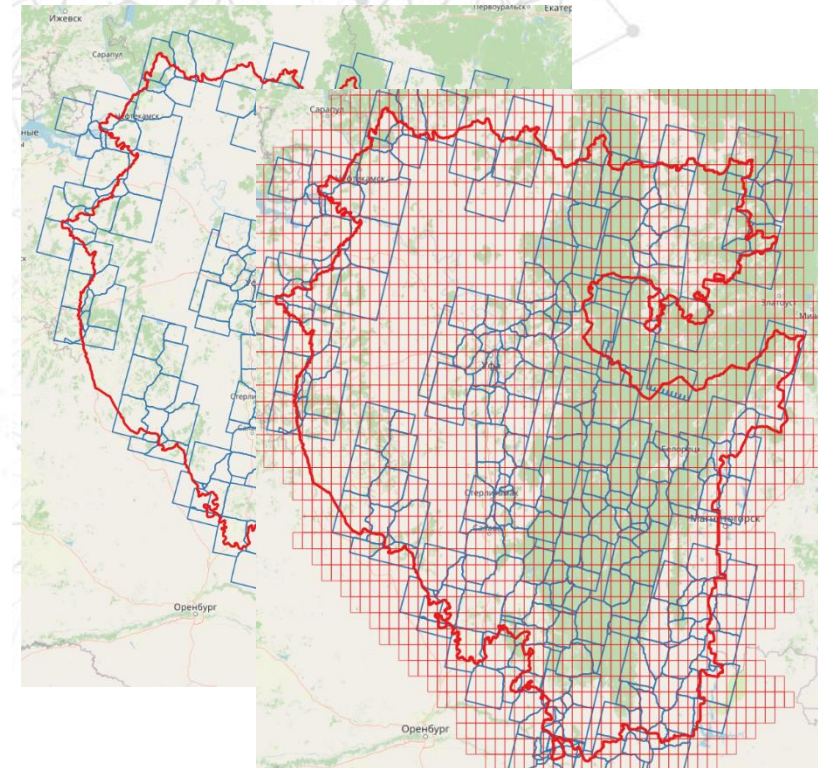
Для автоматического создания проекта разработано СПО, включающее: построение линий порезов* с учетом яркостных характеристик объектов местности, глобальное и локальное выравнивание яркости покрытия, нарезка на листы**.



Ранжирование субъектов РФ по количеству фрагментов покрытия



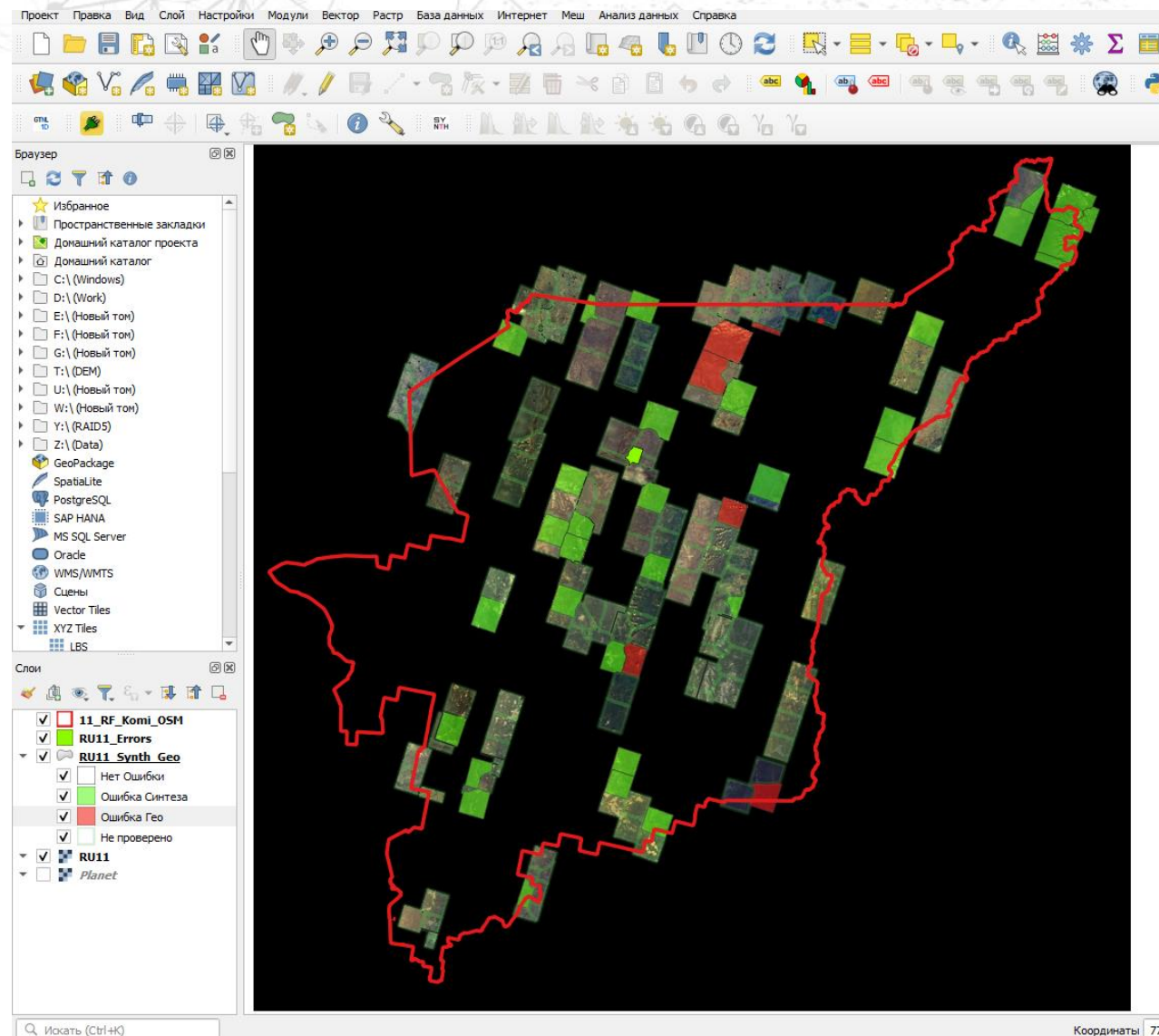
Пример некорректной топологии автоматически созданных порезов



Автоматическое создание линий порезов и листов

* Порезы – линии сшивки смежных сцен.

** Листы – единицы формирования покрытия.

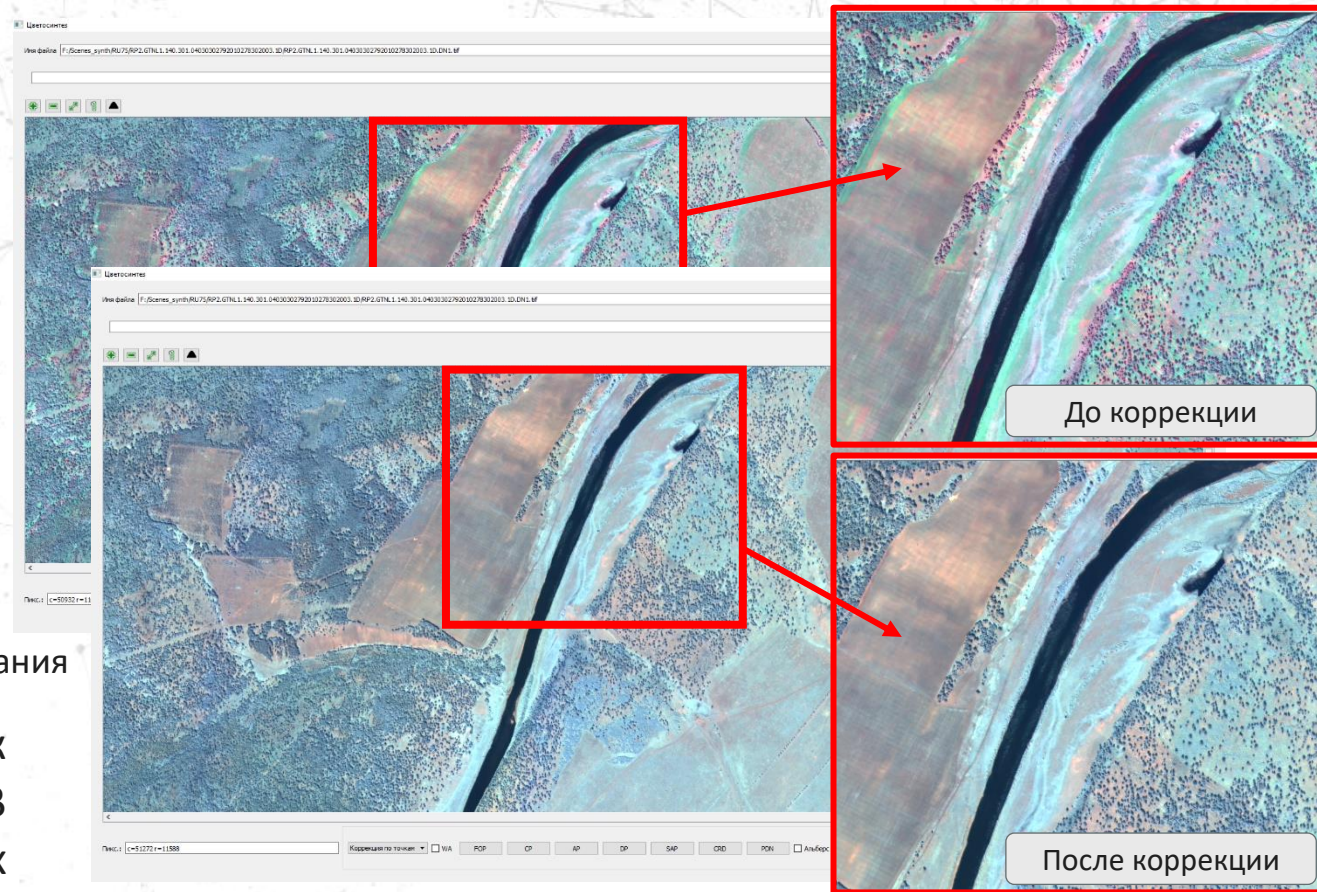
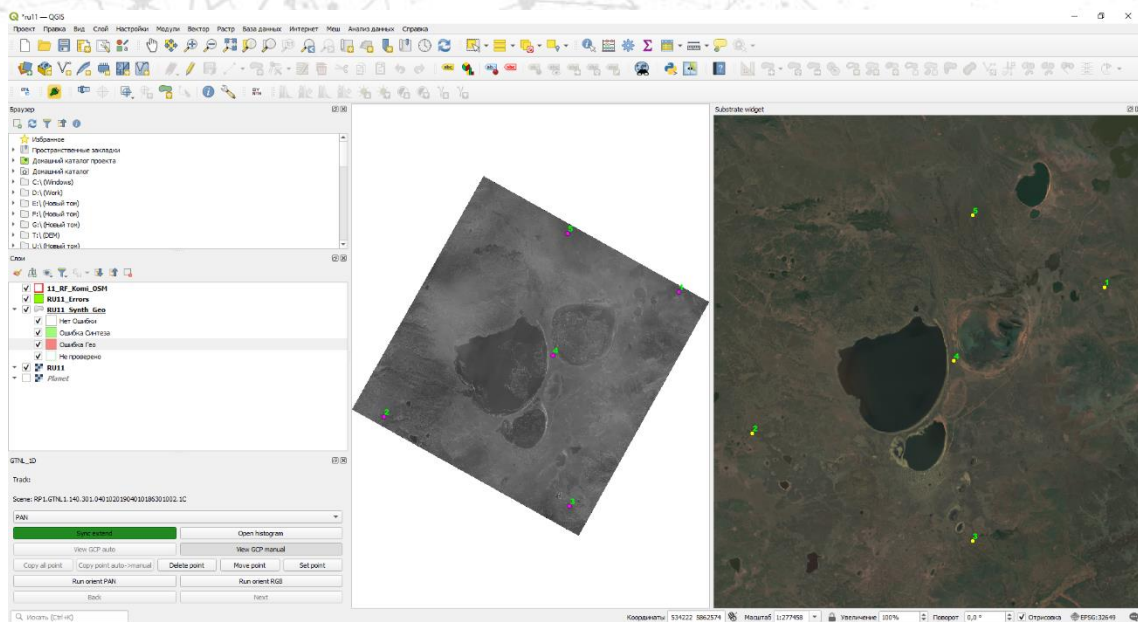


Результат автоматической проверки качества геофференцирования и его валидация оператором

Результаты работы СПО автоматической оценки качества геофференцирования проверяются оператором, выделяются сцены с ошибками для дальнейшего интерактивного исправления



Пример ошибки геофференцирования



Модуль QGIS для интерактивного исправления ошибок геопривязки

Для интерактивного исправления ошибок геопривязки разработан модуль ГИС. В качестве опорного покрытия для набора опорных точек выступает бесшовное сплошное покрытие территории РФ комплексированными данными с КА типа «Канопус-В»*.

ПО для локальной полу-автоматической коррекции синтеза

* Марков А.Н., Васильев А.И., Крылов А.В., Михеев А.А., Пестряков А.А., Ромайкин С.В., Михаленков Р.А., Мурашова И.Д., Акимов А.А. Технология создания бесшовного сплошного покрытия территории России по данным космических аппаратов «Канопус-В» // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. № 5. С. 97-115.

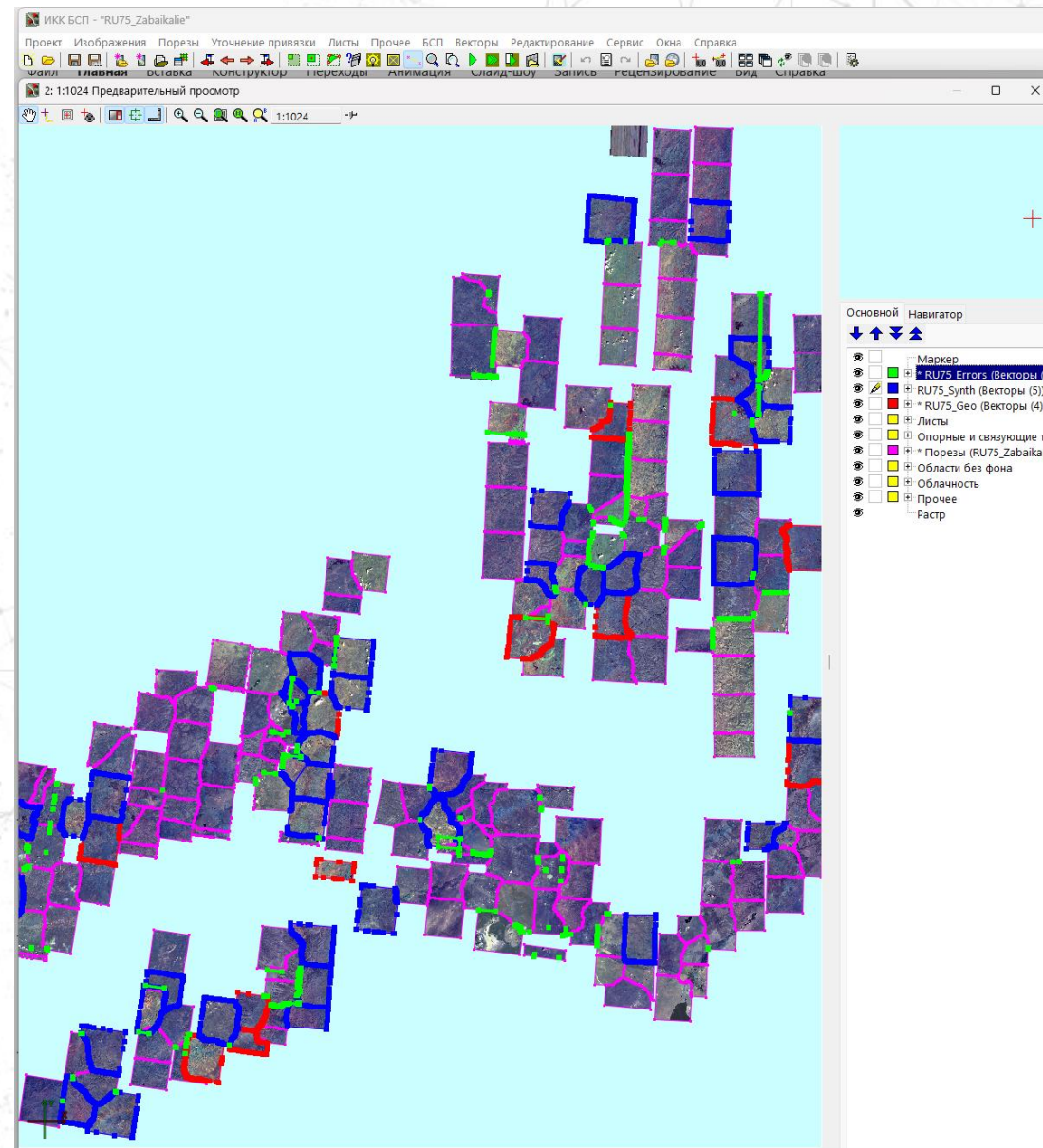
DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-5-97-115.

Финальное исправление проекта покрытия на субъект РФ выполняется оператором в СПО. На этом этапе происходит:

- замена и контроль сцен с ошибками геопроецирования;
- замена и контроль сцен с ошибками синтеза спектральных каналов;
- коррекция автоматически созданных линий порезов;
- устранение артефактов исходных данных;
- яркостное локальное и глобальное выравнивание проекта;
- нарезка проекта на листы по специальной подобранной сетке.

Ограничения СПО коррекции покрытия:

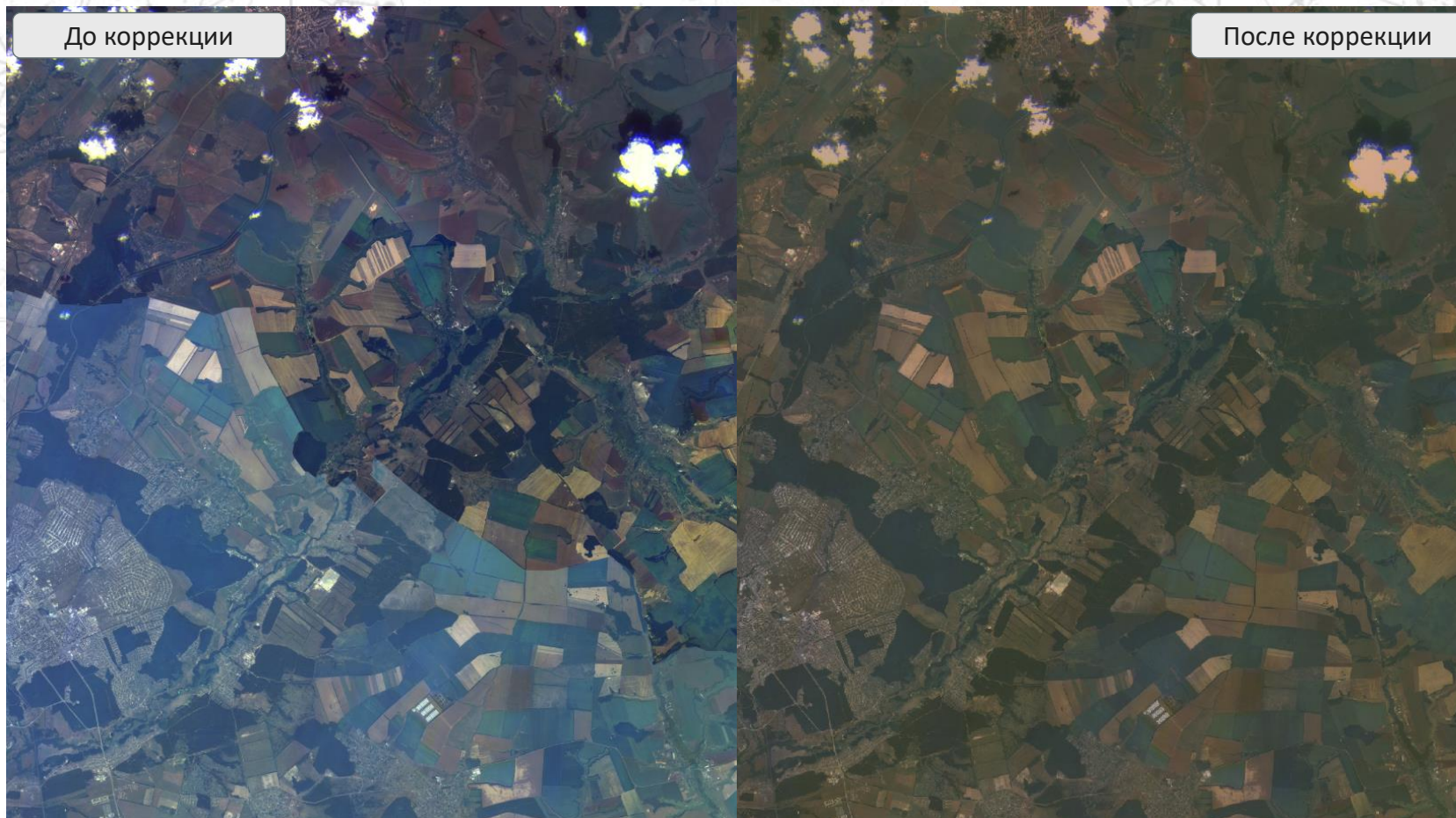
- ошибки локального выравнивания (требуют дополнительной коррекции порезов);
- не поддерживается распараллеливание формирования листов покрытия (в используемом базовом пакете);
- узкий инструментарий работы с линиями порезов.



* Васильев А.И., Ромайкин С.В., Пестряков А.А. , Емельянов А.А. Разработка программного обеспечения интерактивного контроля и создания бесшовных сплошных покрытий // Доклад на XXI Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», Москва, 13-17 ноября 2023г. <http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow.aspx?page=249&thesis=9624>

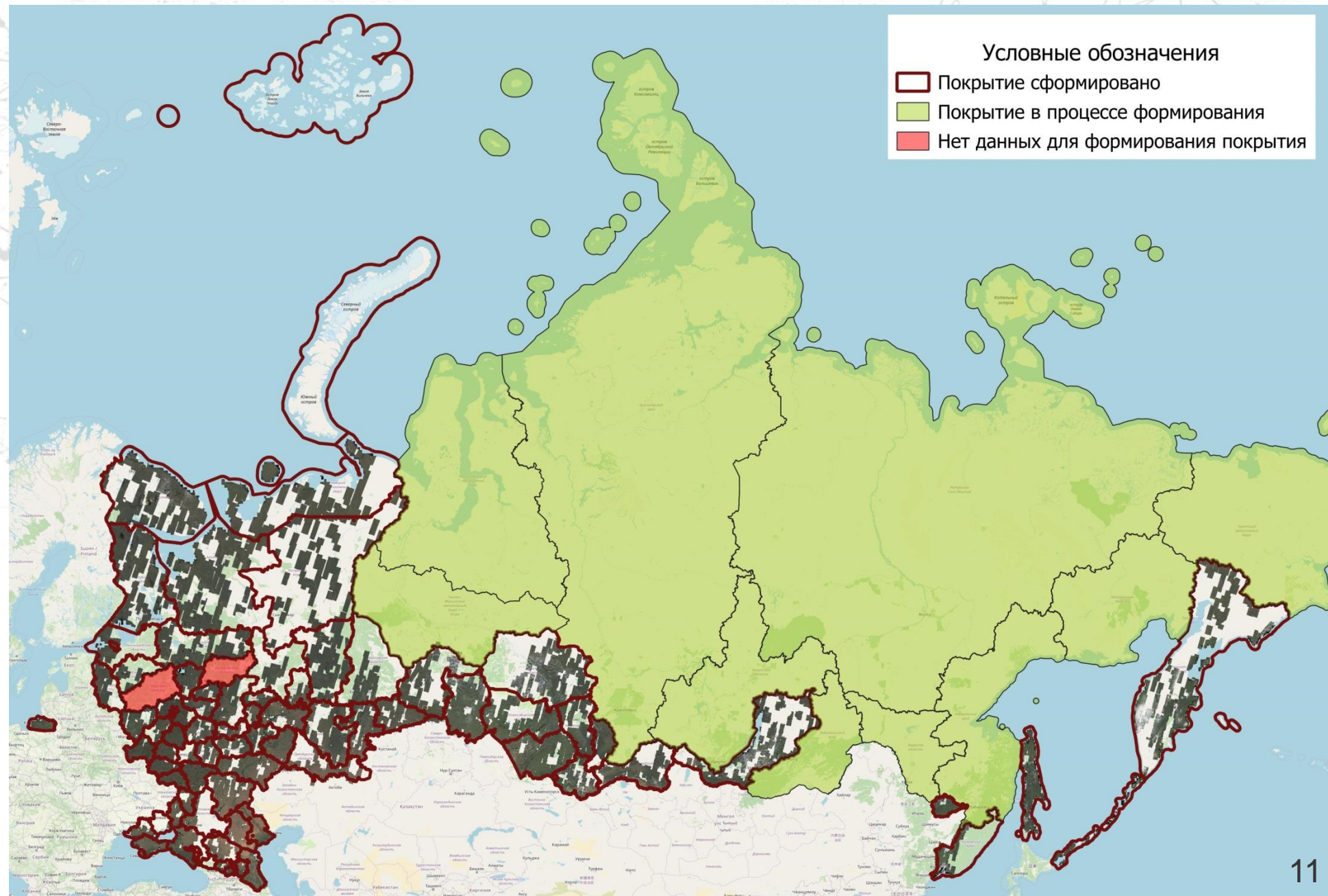
Цветовая коррекция покрытия

Покрытия отдельных субъектов имеют яркостные и цветовые различия. Для формирования тонально сбалансированного покрытия территории РФ* выполняется цветовая коррекция фрагментов покрытия, включающая глобальное выравнивание яркости с использованием опорного покрытия.

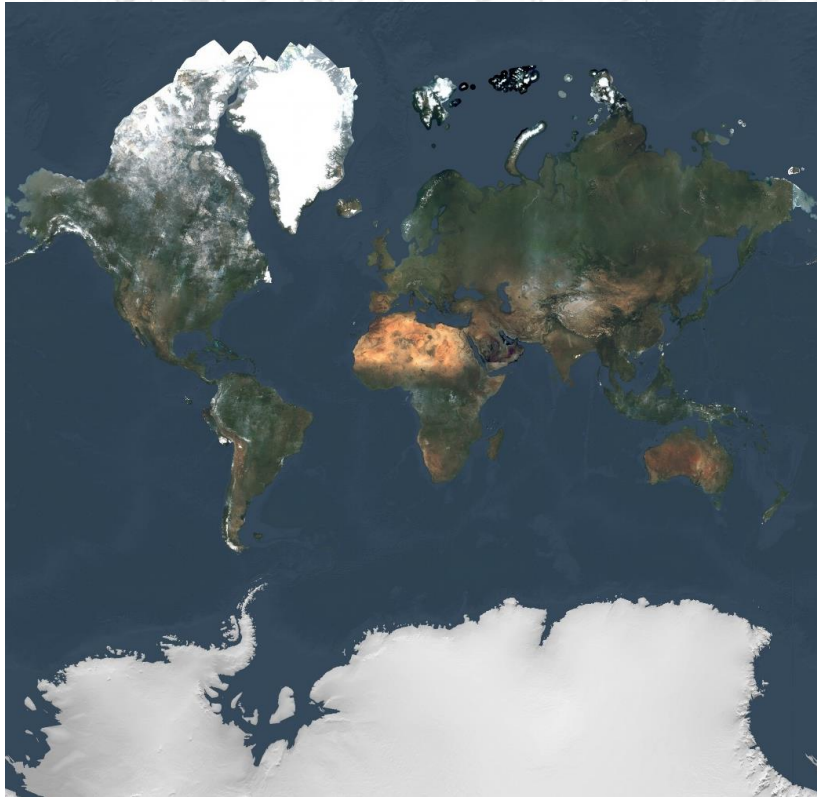


* Васильев А.И., Пестряков А.А., Михеев А.А., Мурашова И.Д. Особенности формирования тонально сбалансированного покрытия глобального уровня по данным КМСС КА «Метеор-М» // Материалы 20-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва: ИКИ РАН, 2022. С. 85. DOI: 10.21046/20DZZconf-2022a.

Доступ к покрытию осуществляется посредством геоинформационного веб-сервиса «Банк базовых продуктов»* или с использованием QGIS-плагина.



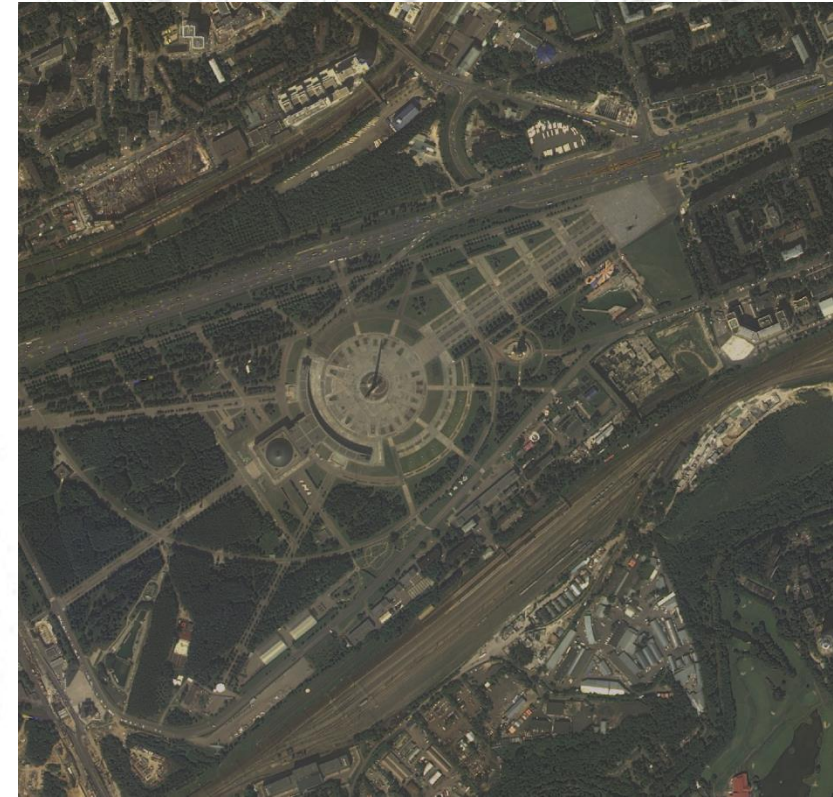
1. По результатам анализа текущего архива формирование сплошного покрытия территории РФ по данным Геотон-Л1 КА «Ресурс-П» возможно с ограничениями по облачности и объемам используемых данных;
2. Значительный объем данных требует использования конвейерных технологий в части стандартной обработки и формирования покрытий регионов РФ (например, объем исходных данных для создания покрытия одного региона может составлять более 15ТБ);
3. Необходима разработка специализированных автоматических и автоматизированных технологий:
 - контроля качества данных архива съемки в части точности геопривязки и наличия артефактов;
 - контроля качества выходной продукции в части контроля синтеза спектральных каналов;
4. Сформированы бесшовные несплошные покрытия 76 регионов РФ. В 2026 году планируется:
 - завершение формирования покрытий регионов РФ по данным съемки КА «Ресурс-П» №№ 1-3;
 - обновление покрытий регионов РФ по данным съемки КА «Ресурс-П» №№ 4-5.



БСП по данным КА типа «Метеор-М»
аппаратуры КМСС
Zoom 0 - 11



БСП по комплексированным данным
КА типа «Канопус-В»
Zoom 11 - 16



БСП по комплексированным данным
КА типа «Ресурс-П»
Zoom 13 - 17

Спасибо за внимание!

